



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه گیری آلفا و بتا کل موجود در آبهای زیرزمینی استان تهران

سوسن بیات^۱، شهید دکتر مجید شهریاری^۱، دکتر بهجت قاسمی^۱، مهندس محمد صادق ناصری^۲

^۱ دانشکده مهندسی هسته ای دانشگاه شهید بهشتی، تهران ایران ^۲ انستیتو فیزیک کاربردی، تهران ایران

چکیده:

اندازه گیری آلفا و بتا کل توسط آشکار ساز تناسبی به عنوان اولین گام برای پایش ۳۱ نمونه آب زیرزمینی استان تهران انجام گرفته است. نمونه ها تحت طیف نگاری آلفا قرار گرفته و اکتیویته آلفا کل و رادیونوکلئیدهای اورانیوم-۲۳۸، اورانیوم-۲۳۴، رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ تعیین می شود. طبق حدود مجاز اعلام شده در ویرایش سوم راهنمای سازمان بهداشت جهانی اکتیویته آلفا (0.5Bq/L) و بتا (1Bq/L)، پرتوزایی نمونه ها در حد مجاز است.

کلیدواژه: آب زیرزمینی، اندازه گیری آلفا و بتا کل، آشکار ساز تناسبی، سیستم طیف نگاری PIPS

مقدمه:

به دلیل اهمیت آب در زندگی انسان کنترل کیفیت منابع آبی بسیار حائز اهمیت است. کنترل بهداشت و سلامتی منابع آب از جهت آلاینده های میکروبی، شیمیایی و پرتوزا انجام می گیرد. مواد پرتوزا به طور طبیعی از انحلال گازها و مواد معدنی صخره ها در آب و یا به طور مصنوعی از تخلیه پسماندهای هسته ای، ریزش اتمی آزمایش تسلیحات هسته ای و حوادث هسته ای (چرنوبیل) تولید می شود. رادیونوکلئیدهای طبیعی از جمله ایزوتوپ های اورانیوم و توریم و همچنین هسته های دختر آنها: رادیوم-۲۲۶، رادون-۲۲۲، پلونیوم-۲۱۰ به عنوان گسیلنده های آلفا و سرب-۲۱۰، رادیوم-۲۲۸ به عنوان گسیلنده های بتا در آب یافت می شوند و در صورت وارد شدن به بدن از طریق خوردن و آشامیدن منجر به آسیب های سلولی خواهند شد. این آسیب سلولی می تواند موجب مرگ سلول، تکثیر غیر طبیعی و نهایتاً سرطان شود. از این رو پرتوگیری دراز مدت از رادیونوکلئیدهای موجود در آب آشامیدنی، ممکن است سبب بروز سرطان و ناهنجاری ژنتیکی شود. ولی اگر غلظت رادیونوکلئیدها پایینتر از حدود مجاز باشد خطری برای سلامت موجودات زنده، انسان، حیوان و گیاه وجود نخواهد داشت [۱].

اندازه گیری آلفا و بتا کل به عنوان روشی آسان، کم هزینه و در عین حال قابل اعتماد، جهت پایش اولیه پرتوزایی در آب های نوشیدنی، طبیعی و پسماند استفاده می شود. پایش پرتوزایی از نقطه نظر مسائل ایمنی بسیار اهمیت دارد و طبق قوانین بین المللی آب نوشیدنی (EPA, 2000) پایش آب در اکثر آزمایشگاه های دنیا انجام می گیرد. سازمان بهداشت جهانی، WHO، بیشینه حد مجاز مجموع گسیلنده های آلفا و بتا رادر ویرایش دوم راهنمای آب آشامیدنی به ترتیب 0.1Bq/L و 1Bq/L تعیین کرده است. در ویرایش سوم راهنمای آب آشامیدنی این سازمان، اکتیویته مجاز آلفا به 0.5Bq/L افزایش یافته است [۲]. چنانچه اکتیویته ذرات آلفا بیش از 0.1185Bq/L (5pCi/L) باشد اندازه گیری دقیق تر اکتیویته رادیوم-۲۲۶ انجام می گیرد و اگر اکتیویته رادیوم-۲۲۶ بیشتر از 0.11Bq/L (3pCi/L) باشد اندازه گیری رادیوم-۲۲۸ توصیه می شود.



بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه‌گیری همزمان پرتوزائی کل آلفا-بتا، نمونه‌های آب نوشیدنی شهر تهران از جمله آب شیر، آب چاه عمیق و سه نمونه آب معدنی آشامیدنی بطری شده تجاری با استفاده از روش شمارش سوسوزن مایع انجام گرفته است. [۳] همچنین ۲۷ نمونه از چشمه‌های آب گرم و معدنی شمال البرز به روش شمارش سوسوزن مایع و رسوب خشک مورد اندازه‌گیری آلفا و بتای کل قرار گرفته‌اند. [۴]

در این مطالعه نیز با هدف بررسی پرتوزایی در نمونه آب‌های زیرزمینی استان تهران ۳۱ نمونه آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات به روش نمونه‌برداری سامان یافته چنان جمع آوری شده است که کل استان پوشش یابد. علاوه بر اجرای روش پایش آلفا و بتا کلی، اندازه‌گیری رادیونوکلئیدهای اورانیوم-۲۳۸، اورانیوم-۲۳۴، رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ نیز انجام گرفته و با حد شاخص مجاز آن، ارائه شده در راهنمای سازمان بهداشت جهانی مقایسه شده است.

روش نمونه برداری:

در این مطالعه منابع آبی به روش نمونه برداری سامان یافته انتخاب شده‌اند. اکثریت منابعی که مورد نمونه برداری قرار گرفته‌اند توسط مردم همان منطقه به مصرف خانگی یا کشاورزی می‌رسیدند. از هر منطقه یک نمونه در ظرف پلی اتیلنی ۵ لیتری جمع‌آوری شده و به منظور توقف و کند کردن روند تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی، PH نمونه جمع آوری شده با افزودن اسید نیتریک غلیظ به کمتر از ۲ می‌رسد تا در مدت زمان نگهداری از رسوب رادیونوکلئیدها به دیواره ظرف جلوگیری شود [۵].

روش آماده سازی نمونه‌ها:

برای اندازه‌گیری مجموع اکتیویته آلفا-بتا روش تبخیر برای آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده شده است. به این ترتیب که طبق دستورالعمل ASTM حجم مناسبی از نمونه آب (حجم آب مورد تبخیر با مقدار املاح آب رابطه عکس دارد) به بشر ۲ لیتری منتقل می‌شود نمونه آب تحت حرارت ملایم هیتر، بطوری که نجوشد، تبخیر می‌شود تا حجم آن به ۱۵-۱۰ برسد. به دلیل بالا بودن غلظت نمک در نمونه‌های آب، تبخیر بیشتر نمونه ممکن نمی‌باشد [۶]، [۷]. ۱ میلی‌لیتر از نمونه توسط پیپت برداشته شده و در مرکز ظرف لایه نشانی (پلنچت) قرار می‌گیرد. نمونه تحت تابش لامپ فروسرخ به آرامی مورد تبخیر قرار می‌گیرد تا توزیع یکنواختی از رسوب روی سطح پلنچت حاصل شود.

اندازه‌گیری آلفا/بتا کل:

جهت اندازه‌گیری آلفا و بتا کل، نمونه‌ها توسط سیستم NT200 مورد شمارش قرار می‌گیرند. این سیستم مجهز به دو آشکارساز تناسبی با پنجره ورودی میکا است که با مخلوط گاز آرگون و دی‌اکسید کربن در فشار 850 میلی بار پر شده است که یکی جهت اندازه‌گیری نمونه و دیگری برای کاهش شمارش‌های زمینه به کار می‌رود. این سیستم شامل حفاظ سربی با هندسه 4π به ضخامت 50 میلی‌متر است که اندازه‌گیری در موقعیت‌های با تابش زمینه بالا را نیز امکان پذیر می‌سازد. آهنگ شمارش زمینه با شمارش پلنچت خالی توسط سیستم بدست می‌آید. برای اندازه‌گیری اکتیویته رادیونوکلئیدهای اورانیوم-۲۳۸، اورانیوم-۲۳۴، رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ نمونه‌ها توسط آشکارساز PIPS با سطح فعال ۲۰۰۰ میلی‌متر مربع به مدت ۲۴ ساعت مورد طیف نگاری قرار می‌گیرند.



بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۱۷ و ۱۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

محاسبه بازدهی روش تبخیر

جهت برآورد بازدهی روش تبخیر، ۱ لیتر آب خالص Merck اسیدی شده به بشر ۲ لیتری منتقل شده و پس از افزودن ۱۰ میکرولیتر ردیاب استاندارد آمرسیم-۲۴۱ به اکتیویته $174/70 \pm 3/1446$ تحت حرارت ملایم هیتر تحت تبخیر قرار می‌گیرد تا حجم آن به ۱۰ میلی‌لیتر برسد. در این مرحله طبق روش آماده سازی نمونه‌های رسوب خشک شده، ۱ میلی‌لیتر از نمونه روی سطح پلنچت تحت تابش لامپ فروسرخ مورد تبخیر قرار می‌گیرد. با این کار بازدهی روش تبخیر برای آماده سازی نمونه‌های آنالیز آلفا بدست می‌آید. برای محاسبه بازدهی روش تبخیر جهت آنالیز بتا، به ۱ لیتر آب خالص اسیدی شده ۵۰ میکرولیتر ردیاب استاندارد استرانسیم-۹۰ به اکتیویته $174/97 \pm 17/23$ بکرل افزوده شده و سپس عمل تبخیر و نمونه سازی همانند روش محاسبه بازدهی تبخیر آلفا انجام می‌گیرد.

کالیبراسیون بازدهی شمارش بر حسب ضخامت سطحی

مشکلات و عوامل تداخلی گوناگونی در اندازه‌گیری آلفا و بتا کل توسط شمارنده تناسبی وجود دارد که مهمترین عامل تداخلی خودجذبی ذرات آلفا در نمونه است. با توجه به افزایش خود جذبی به دنبال افزایش ضخامت سطحی، انتظار می‌رود که بازدهی شمارش آلفا و بتا در نمونه‌ها با ضخامت‌های مختلف متفاوت بدست آید. بنابراین محاسبه دقیق بازدهی شمارش آلفا و بتا هر نمونه مستلزم کالیبراسیون بازدهی شمارش بر حسب ضخامت سطحی نمونه‌ها است. از این رو باید نمونه‌هایی با اکتیویته مشابه اما با ضخامت‌های سطحی مختلف تهیه شود. برای تهیه چشمه‌هایی با ضخامت‌های سطحی مختلف به محلول نمک، نمکی مشابه با املاح موجود در آب واقعی، با غلظت‌های مختلف نیاز است. در این مطالعه از محلول نمک سولفات کلسیم با غلظت 25 mg/ml و 10 استفاده شده است.

با در نظر گرفتن بیشینه حجم قابل قبول پلنچت که ۵ میلی‌لیتر می‌باشد، حجم‌های مختلف ۱،۲،۳،۴ و ۵ میلی‌لیتر از محلول نمک توسط پیپت مدرج روی سطح پلنچت قرار گرفته و به تمامی نمونه‌ها ۱۰ میکرولیتر ردیاب استاندارد آمرسیم-۲۴۱ به اکتیویته $174/85 \pm 3/1473$ بکرل توسط اپنדרف به طور مستقیم تزریق می‌شود و سپس نمونه‌ها مورد تبخیر قرار می‌گیرند. به این ترتیب نمونه‌های استاندارد کالیبراسیون بازدهی آلفا بر حسب ضخامت سطحی بدست می‌آیند. برای تهیه نمونه‌های استاندارد کالیبراسیون بازدهی بتا بر حسب ضخامت سطحی هم به ترتیب فوق عمل می‌شود. با این تفاوت که به هر نمونه ۵۰ میکرولیتر از ردیاب استاندارد استرانسیم-۹۰ به اکتیویته $174/98 \pm 17/33$ بکرل اضافه می‌شود.

نتایج اندازه‌گیری اکتیویته کلی آلفا و بتا

آهنگ شمارش زمینه با شمارش پلنچت خالی به مدت ۹۵۰۰ ثانیه در آشکارساز تناسبی در کانال آلفا و بتا اندازه‌گیری می‌شود. نتایج شمارش زمینه و بازدهی روش تبخیر در جدول (۱) در حد اطمینان ۹۵٪ آورده شده است.

جدول (۱): آهنگ شمارش زمینه و بازدهی روش تبخیر

بازدهی بتا در روش تبخیر، %	آهنگ شمارش زمینه بتا، cps	بازدهی آلفا در روش تبخیر، %	آهنگ شمارش زمینه آلفا، cps
----------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۰/۰۰۲±۰/۰۰۱	۸/۸۸	۰/۲۸±۰/۰۱۵	۲۰/۰۸
-------------	------	------------	-------

برای محاسبه کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی آلفا و بتا سیستم (MDA) بالاترین مقدار بازدهی نمونه‌های استاندارد آلفا و بتا با اکتیویته برابر و ضخامت سطحی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول (۲) نتایج MDA سیستم و بالاترین مقدار استاندارد بازدهی آورده شده است.

جدول (۲): کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی آلفا و بتا در سیستم تناسبی

بالاترین بازدهی آلفا %	بالاترین بازدهی بتا %	کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی آلفا، Bq/ml			کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی بتا، Bq/ml		
		حجم ۱۰۰۰ ml	حجم ۶۰۰ ml	حجم ۴۰۰ ml	حجم ۱۰۰۰ ml	حجم ۶۰۰ ml	حجم ۴۰۰ ml
۸/۰۹	۲۱/۳۷	۷/۵۷E-۵	۷/۳۳E-۵	۱/۰۹E-۴	۱/۵۱E-۴	۱/۹۴E-۴	۲/۹۱E-۴

از آنجاییکه نمونه‌های محیطی ضخامت سطحی مختلفی دارند، برای محاسبه غلظت اکتیویته نمونه به بازدهی آشکارسازی نیاز است. منحنی بازدهی شمارش نمونه‌های استاندارد بر حسب ضخامت سطحی رسم می‌شود و با توجه به معادله منحنی فیت شده، بازدهی آشکارسازی هر نمونه بدست می‌آید و سپس با استفاده از رابطه (۱) اکتیویته کل آلفا و بتا در حد اطمینان ۹۵٪ محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad \text{concentration} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{ml}} \right) = \frac{C_{\text{net}}}{f_0 \times V}$$

نتایج اندازه‌گیری اکتیویته آلفا توسط سیستم طیف نگاری PIPS

با جمع‌آوری طیف پلنچت خالی به مدت ۲۴ ساعت، طیف نمونه زمینه بدست می‌آید. بازدهی آلفا در روش تبخیر در سیستم طیف نگاری آلفا برابر ۸/۸٪ بدست می‌آید. براساس بیشترین بازدهی نمونه‌های استاندارد آلفا با اکتیویته برابر و ضخامت سطحی مختلف در سیستم طیف نگاری آلفا که برابر ۱۶/۰۴٪ بدست آمده است کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی در سیستم طیف نگاری بدست می‌آید، نتایج اندازه‌گیری در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): کمینه اکتیویته قابل آشکارسازی در سیستم طیف نگاری آلفا با بیشینه بازدهی ۱۶/۰۴٪

حجم اولیه نمونه پیش از تبخیر، ml	²³² Th ($\frac{\text{Bq}}{\text{ml}}$)	²³⁸ U ($\frac{\text{Bq}}{\text{ml}}$)	²³⁴ U ($\frac{\text{Bq}}{\text{ml}}$)	²²⁶ Ra ($\frac{\text{Bq}}{\text{ml}}$)
۱۰۰۰	۳/۲۲E-۶	۳/۰۶E-۶	۲/۶۹E-۶	۲/۷۰E-۶
۶۰۰	۵/۳۷E-۶	۵/۱۱E-۶	۴/۴۸E-۶	۴/۵۱E-۶



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۴۰۰	۸/۰۵E-۶	۷/۶۷E-۶	۶/۷۳E-۶	۶/۷۶E-۶
-----	---------	---------	---------	---------

نتایج اکتیویته رادیونوکلئیدهای ^{238}U ، ^{234}U ، ^{226}Ra و ^{232}Th به احتساب خطای استاندارد در حد اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده است. مجموع اکتیویته این رادیونوکلئیدها برابر اکتیویته آلفا کل می‌باشد. در جدول (۴) اکتیویته کل آلفا اندازه‌گیری شده در دو سیستم آشکارسازی و اکتیویته کل بتا نمونه‌ها آورده شده است.

جدول (۴): اکتیویته کلی آلفا و بتا در نمونه آب استان تهران

کد نمونه	نام منطقه	اکتیویته آلفا کل در سیستم طیف نگاری، $(\text{Bq/ml} \pm 2\sigma)$	اکتیویته آلفا کل در سیستم تناسبی، $(\text{Bq/ml} \pm 2\sigma)$	اکتیویته بتا کل، $(\text{Bq/ml} \pm 2\sigma)$
SAB1	زرین چال	$4/53E-5 \pm 8/56E-6$	<MDA	$2/87E-4 \pm 1/02E-4$
SAB2	شمس آباد	$1/37E-4 \pm 1/97E-5$	<MDA	$2/91E-4 \pm 1/05E-4$
SAB3	تنگه واشی	$1/98E-5 \pm 8/90E-6$	<MDA	$4/35E-4 \pm 1/24E-4$
SAB4	روستای بپرد	$2/76E-5 \pm 9/35E-6$	<MDA	$2/89E-4 \pm 1/04E-4$
SAB5	روستای اندریه	$4/61E-5 \pm 1/88E-5$	—	$1/96E-4 \pm 9/55E-5$
SAB6	روستای انزها	$5/77E-5 \pm 1/86E-5$	<MDA	<MDA
SAB7	سرخه ده	$4/02E-5 \pm 1/03E-5$	<MDA	$3/35E-4 \pm 1/11E-4$
SAB8	ده مرآ	$2/41E-4 \pm 3/05E-5$	<MDA	$2/95E-4 \pm 1/06E-4$
SAB9	باغ کمش	$3/95E-5 \pm 1/01E-5$	<MDA	<MDA
SAB10	کلکده لواسان	$5/33E-5 \pm 1/20E-5$	$7/92E-5 \pm 7/16E-5$	$2/42E-4 \pm 9/91E-5$
SAB11	امامه ده	$5/62E-5 \pm 8/13E-6$	<MDA	$2/39E-4 \pm 9/80E-5$
SAB12	لمبران	$5/93E-5 \pm 9/04E-6$	<MDA	$2/87E-4 \pm 1/03E-4$
SAB13	کلانک	$1/62E-5 \pm 4/23E-6$	$9/29E-5 \pm 5/75E-5$	$3/80E-4 \pm 1/15E-4$
SAB14	صالحیه	$3/68E-4 \pm 6/23E-5$	—	—
SAB15	تنکمان	$8/92E-5 \pm 2/09E-5$	<MDA	$2/43E-4 \pm 9/97E-5$
SAB16	کردان	$5/50E-5 \pm 1/42E-5$	<MDA	<MDA
SAB17	امام چمشه	$1/04E-5 \pm 9/70E-6$	<MDA	$4/85E-4 \pm 1/32E-4$



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

SAB18	وله ده	$3/35E-5 \pm 1/07E-5$	—	—
SAB19	دروان	$2/57E-5 \pm 7/53E-6$	<MDA	<MDA
SAB20	ایپک	$2/97E-4 \pm 2/30E-5$	—	<MDA
SAB21	جاده رندان	<MDA	—	<MDA
SAB22	ترشبنه	$4/87E-5 \pm 1/77E-5$	<MDA	—
SAB23	ده خیر	$1/82E-4 \pm 2/88E-5$	—	—
SAB24	کوشک	$1/06E-4 \pm 1/63E-5$	<MDA	$1/93E-4 \pm 9/42E-5$
SAB25	زرین آباد	$1/20E-4 \pm 4/00E-5$	—	<MDA
SAB26	معدن منگنز	$2/68E-4 \pm 3/26E-5$	$1/11E-4 \pm 1/10E-4$	$2/45E-4 \pm 1/01E-4$
SAB27	کوشک فشاپویه	$2/42E-4 \pm 6/19E-5$	—	—
SAB28	موسی آباد	$3/84E-5 \pm 1/06E-5$	—	—
SAB29	مبارکيه	$7/66E-5 \pm 2/87E-5$	<MDA	—
SAB31	شريف آباد	$3/14E-5 \pm 2/40E-5$	—	—
SAB32	يافت آباد	$1/68E-5 \pm 7/72E-6$	—	<MDA

اکتیویته بتا در ۰.۴۸٪ نمونه‌ها بالاتر از MDA سیستم بوده و در بازه $0/19-0/48$ Bq/L تغییر می‌کند و سهم عمده ناشی از پتاسیم-۴۰ است. در اندازه‌گیری آلفا توسط آشکارساز تناسبی تنها ۱۰٪ نمونه‌ها اکتیویته بالاتر از MDA داشته‌اند که در محدوده $0/07-0/11$ Bq/L است. در اندازه‌گیری آلفا توسط سیستم طیف نگاری PIPS تنها یک نمونه اکتیویته کمتر از MDA داشته و اکتیویته نمونه‌ها در بازه $0/01-0/36$ Bq/L است.

طبق ویرایش سوم راهنمای آب نوشیدنی سازمان بهداشت جهانی، بیشینه حد مجاز مجموع گسیلنده‌های آلفا و بتا به ترتیب $0/5$ Bq/L و 1 Bq/L می‌باشد. که به این ترتیب اکتیویته آلفا و بتا محاسبه شده در نمونه‌های آب زیرزمینی استان تهران در حدود مجاز می‌باشند.

با توجه به مراحل پایش اکتیویته ذرات آلفا گسیل، نمونه‌ها بررسی می‌شوند. اکتیویته آلفا در همه‌ی نمونه‌ها کمتر از $0/18$ Bq/L است. بنابراین طبق استاندارد EPA چنانچه اکتیویته ذرات آلفا بیش از $0/18$ Bq/L (5 pCi/L) باشد اندازه‌گیری رادیوم-۲۲۶ انجام می‌گیرد. اگر اکتیویته رادیوم-۲۲۶ کمتر از $0/11$ Bq/L (3 pCi/L) باشد پرتوژیابی نمونه آب در حدود قابل قبول است در غیر اینصورت اندازه‌گیری رادیوم-۲۲۸ توصیه می‌شود.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اکتیویته آلفا کل ۵ نمونه بیش از 0.118 Bq/L می‌باشد. و از آنجائیکه اکتیویته رادیوم-۲۲۶ در آن‌ها کمتر از 0.11 Bq/L است اندازه‌گیری دیگری نیاز نیست و پرتو زایی منابع آبی مورد مطالعه در حد مجاز است. نتایج در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵) نتایج آنالیز رادیوم-۲۲۶ در ۵ نمونه اکتیویته بالا

کد نمونه	اکتیویته آلفا کل در سیستم طیف نگاری، $(\text{Bq/ml} \pm 2\sigma)$	اکتیویته رادیوم-۲۲۶، $(\text{Bq/ml} \pm 2\sigma)$
SAB8	$2.41E-4 \pm 3.05E-5$	$6.76E-5 \pm 1.52E-5$
SAB14	$3.68E-4 \pm 6.23E-5$	$9.59E-5 \pm 3.10E-5$
SAB20	$2.97E-4 \pm 2.30E-5$	$7.71E-5 \pm 1.13E-5$
SAB26	$2.68E-4 \pm 3.26E-5$	$8.38E-5 \pm 1.67E-5$
SAB27	$2.42E-4 \pm 6.19E-5$	$6.92E-5 \pm 2.99E-5$

با توجه به نتایج طیف‌نگاری و اکتیویته رادیونوکلئیدهای بررسی شده مشخص می‌شود که اورانیوم-۲۳۴ و رادیوم-۲۲۶ بالاترین سهم اکتیویته آلفا را در نمونه‌ها تشکیل می‌دهند. با مقایسه نتایج اکتیویته آلفا در دو روش، نتیجه‌گیری می‌شود که آشکارساز نیمه‌هادی سیستم مناسب‌تری برای پایش آلفا کل است.

- [1] A compendium of drinking-water quality standards in the Eastern Mediterranean Region, World Health Organization, 2006
- [2] A. MartõÂnSaÂnchez *et.al.* Radioactivity in bottled mineral waters, Applied Radiation and Isotopes 50 (1999) 1049-1055
- [3] فریداصغریزاده و همکاران، تعیین پرتو زائی کلینموننها یا با شامیدن بیهر و شمارش سنتیلاسیونمایع، پانزدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران دانشگاه گلستان، چهاردهم و پانزدهم اسفند ماه ۱۳۸۷
- [4] جوزائی، ص، بررسی میزان رادیوم-۲۲۶ و سایر رادیونوکلئیدهای مطرح در چشمه‌های آب شمال البرز، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، ۱۳۸۶
- [5] Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario, Ontario Ministry of Environment and Energy Standards Development Branch, December 1996, version 1.1
- [6] Standard Test Method for Alpha Particle Radioactivity of water, ASTM, Designation: D1943-96
- [7] Standard Test Method for Beta Particle Radioactivity of water, ASTM, Designation: D1890-96